

山陽電気鉄道(株)向け新形チョッパ装置

New Chopper Control Equipment for Sanyo Electric Railway Co., Ltd.

岩村光二* Kôji Iwamura・杉本友明** Tomoaki Sugimoto・木下繁則** Shigenori Kinoshita・白井祺一郎*** Kiichirô Shirai
二宮直樹**** Naoki Ninomiya

I. まえがき

チョッパ制御車が実用化され、営業運転用として供されるようになってから既に10年以上になる。この間パワーエレクトロニクス技術の進歩によって、チョッパ技術も大きく進歩してきた。最近のチョッパ装置に対しては、より一層の小形軽量化、高信頼化、低騒音化とともに、省エネルギー化と保全性の改善の要求が非常に高まってきている。

当社は、昭和47年に山陽電気鉄道(株)へ270系電車用チョッパ装置を納入している⁽¹⁾。本チョッパ装置は営業運転車用として昭和55年まで使用されてきた。最近、保守性の改善、低騒音化及び信頼性の一層の向上の要求が高まり、置換え用として新しいチョッパ装置を製作することになった。このチョッパ装置には、8年間にわたる営業運転実績を織り込むとともに次のような新技術を取り入れている。

- (1) ゲート制御回路のIC化と無接点化
- (2) 逆導通サイリスタを用いたフロン沸騰冷却自冷式チョッパの採用
- (3) マイクロプロセッサを用いたチョッパ自動試験装置の採用

本稿ではこれらの新技術を中心に、今回当社の製作したチョッパ装置の全容を紹介する。

II. 270形チョッパ車の要目

電動車3両編成の中間車はチョッパ制御装置付であり、ほかの2両はカム制御器を搭載しているが、各車の性能及び扱いは全く同じである。第1表にチョッパ車の要目を示す。

III. チョッパ装置の仕様

1. チョッパ装置の要目

チョッパ装置の要目は第1表に示されるように、大容量逆導通サイリスタEJR 22-25 ($V_{DRM} = 2,500$ V, $I_{T(AV)} = 400$ A, $I_{R(AV)} = 150$ A)を用いた直列消弧反発パルス式転流回路を採用し、冷却はフロン沸騰冷却自冷方式としている。これにより、本チョッパ装置は一層の小形化と低騒音化が図られている。

第1表 新形チョッパ車の要目

Table 1. Principal rating of new chopper control equipment

(1) 電源電圧	
架線電圧	1,500 V (900~1,650 V)
アレスタ制限電圧	放電開始 \leq 5,500 V 制限電圧 4,500 V (at 2,000 A 放電電流)
制御電圧	(MG) DC 100 V AC 200 V 120 Hz 2 ϕ
(2) 制御空気圧	5 kg/cm ²
(3) 車両性能	
自重	空車 36.5 t, 満車 54.3 t
加速	空車 2.1 km/h/s 満車 1.4 km/h/s
減速	空気ブレーキ
(4) 電動機	
接続	2S \times 2G
定格容量	52.2 kW (750 V 82 A)
定格回転速度	825 rpm
弱界磁	1段 60% 界磁
脈流率	\leq 10%
(5) チョッパ装置	
接続	二相一重
定格電圧	1,500 V (900~1,650 V)
定格電流	115 A
最大転流電流	154 A
素周波数	200 Hz
合成周波数	400 Hz
転流方式	直列消弧反発パルス方式
制御方式	定周波位相角制御, 電流平均値制御
素子形式	サイリスタ EJR 22-25 ダイオード ERP 04-25
周囲温度	-10~+40 $^{\circ}$ C
冷却方式	フロン沸騰冷却自冷式
転流コンデンサ	12 μ F
転流リアクトル	50 μ H
(6) 主平滑リアクトル	
インダクタンス	80 mH (115 A)
定格電流	82 A
(7) フィルタ装置	
フィルタコンデンサ	500 μ F \times 2P
フィルタリアクトル	10 mH 164 A
共振周波数	50 Hz
(8) 電子式放電器	
放電電圧	2,500 V
放電抵抗	5 Ω

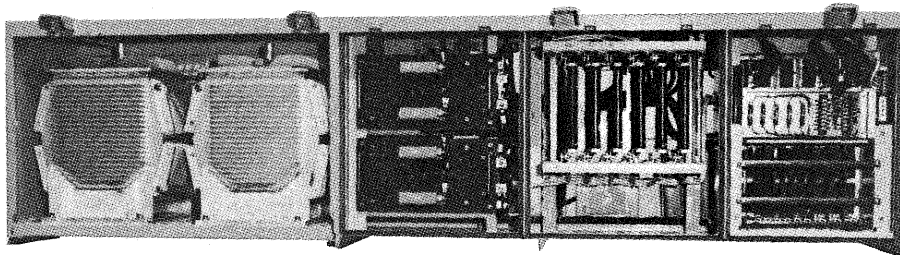
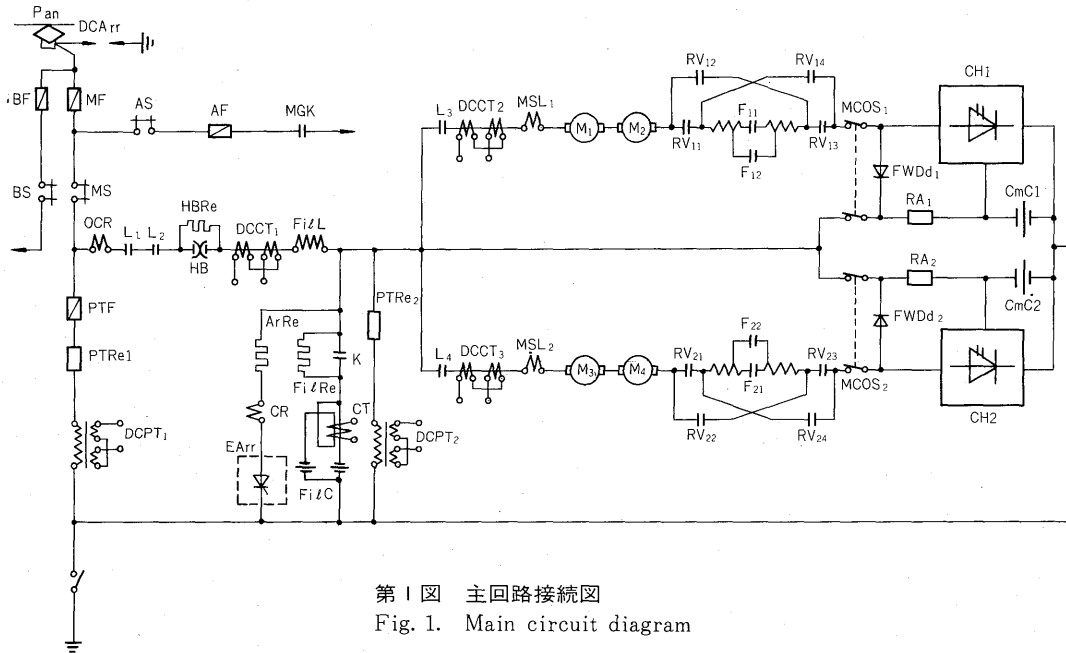
* 輸送特機事業部 技術部 ** 電子・制御技術センター 強電電子開発部 *** 神戸工場 設計部 **** 神戸工場 品質保証部

2. 主回路構成

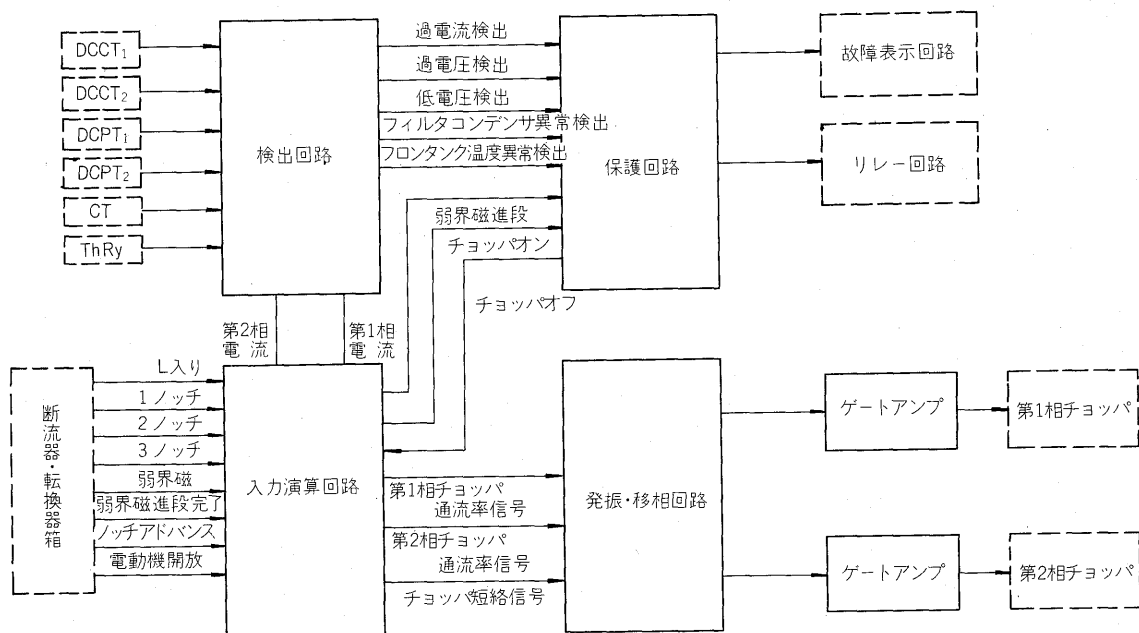
第 1 図に主回路接続図を示す。各電動機接続に各 1 個のチョッパを直列に接続し、二組のチョッパを相互に 180° の位相差で動作させる二相二重方式の主回路接続を

採用している。

この回路構成は各電動機回路が独立しているの、電動機回路の開放運転が簡単となり、架線電流の高調波成分の軽減効果は二相二重方式と全く同じである。更にチ



第 2 図 チョッパ装置
Fig. 2. Chopper control equipment



チョッパではフィルタコンデンサを2群にして各群の電流を監視して、コンデンサの劣化などの異常に備えている。また、チョッパの過電圧保護のため電子式アレスタをフィルタコンデンサと並列に接続している。第2図に本チョッパ装置の外観を示す。

3. 制御方式

第3図に制御概念図を示す。本チョッパ車は、従来の抵抗制御方式の車両と並結して使用するので、運転扱い、始動加速性能、各ノッチでの最終特性など抵抗制御車にそろえている。ゲート制御回路は第3図に示すように四つの機能ブロックに分け、各々1枚のプリント板に収納している。

検出回路は、DCCTやDCPTなどで検出した電動機電流や架線電圧などを信号変換する回路である。入力演算回路は断流器、転換器箱からの運転信号を受ける回路で、上記接点回路の信号を伝える信号線と電子制御回路とはホトカプラで絶縁し、回路の無接点化を図っている。この回路で、運転信号と検出回路の信号とからチョッパの通流率信号をつくり出す。発振・移相回路は200Hzのチョッパ周波数で通流率信号に応じたサイリスタ点弧信号を出す回路であり、チョッパ周波数は水晶発信器から分周して得ている。保護回路は電圧、電流及び温度異常時に故障表示と保護リレー回路を動作させる回路で、制御回路と表示及びリレー回路とは入力回路と同様ホトカプラで絶縁し、回路の無接点化を図っている。

4. 保守点検

プリント板をはじめ断流器、転換器を含めた制御回路の試験を自動的に行えるチョッパ自動試験装置を今回新たに開発し、チョッパ装置と併せて納入した。本試験装置は、マイクロプロセッサを採用することによって大幅な試験機能の拡大と試験時間の低減、及び取扱いやすさからチョッパ装置の保守点検作業が大幅に改善された。

IV. 新しいチョッパ制御技術

新形チョッパは、下記に示すような最近のチョッパ技術を大幅に盛り込み、より小形化、高性能化を図った。

1. チョッパゲート制御装置への新形デバイスの適用

次に示すような新形デバイスを適用することにより、制御装置の高信頼化、性能向上及び小形化を図っている。

1) 制御回路のIC化

IC化により高密度実装と回路の簡素化が可能となり、従来のものに比べてプリント板数が大幅に低減した。この結果、配線数も大幅に低減した。

2) 入力・出力回路の無接点化

入力と出力回路にホトカプラを用いることにより、高信頼性と耐ノイズ性の向上を図っている。

3) 制御回路の機能ブロック化

制御回路の機能をブロック化することにより、チョッパ自動試験装置による試験が容易に行えるようにするとともに、保全の向上を図っている。

2. チョッパの自動試験⁽²⁾

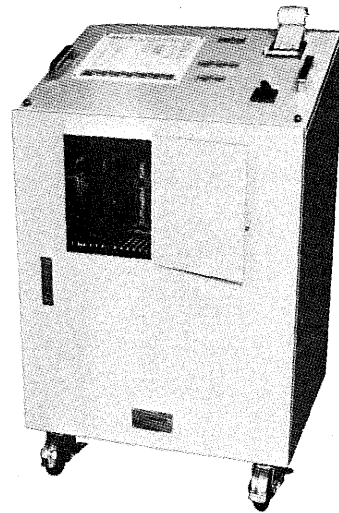
近年、車両機器制御へのマイクロプロセッサの導入が急速に図られている。これはマイクロプロセッサに、

- (1) 機器の動作状態の常時監視及び制御
- (2) 機器の保護
- (3) 保守及び点検

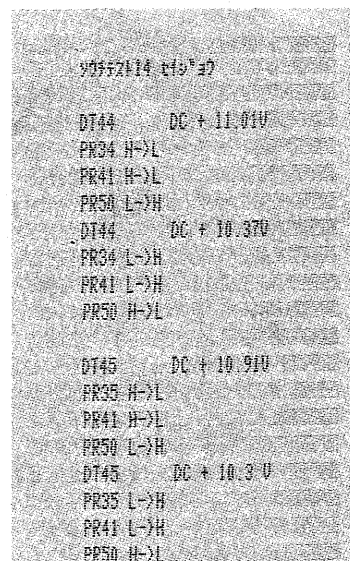
の機能をもたせることにより、高度な制御が可能となり、更に保守、点検などのメンテナンスの大幅な削減が可能となるからである。今後ともこのようなすう勢は続くものと思われる。

当社でも今回、新形チョッパを製作するにあたり、マイクロプロセッサを用いたチョッパ自動試験装置を製作し、チョッパ装置とともに納入した。ここではこの装置の概要を説明する。

チョッパ装置を車両に搭載した状態で、自動試験装置を専用のコネクタで接続し、試験装置のボタン、スイッチを選択することにより、断流器、転換器の動作、チョ



第4図 チョッパ自動試験装置
Fig. 4. Exterior view of chopper automatic test equipment



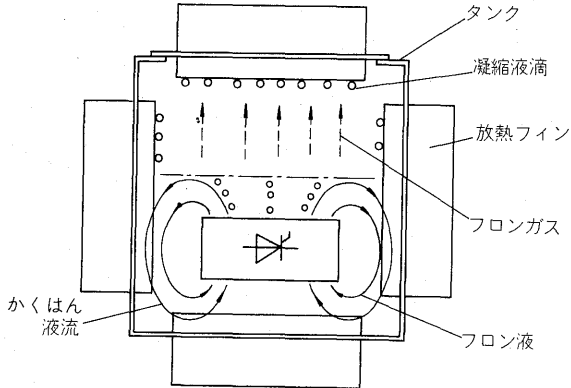
第5図 チョッパ自動試験装置の試験結果の印字例
Fig. 5. Example of printed data

ッパ装置の動作、及びプリント板単体の動作を試験判定することができる。判定結果とデータは専用プリンタで印字させ、定期検査時の記録保存もできるようになっている。また、試験は一連の試験を連続して行う自動試験、特定な試験項目について行う手動試験と繰り返し試験する繰り返し試験の3種類の試験が選択できるようになっている。第4図に本試験装置の外観を、第5図に試験結果の印字例を示す。

V. フロン沸騰冷却自冷式チョッパ

従来のチョッパ装置は冷却性能、小形軽量、構造簡略及び素子交換の容易さなどから乾式冷却方式を採用している。しかし、この方式では冷却用電動送風機の騒音が大きく、スタックやエアフィルタの清掃、送風機の点検を必要とするなど保守上の問題をかかえている。

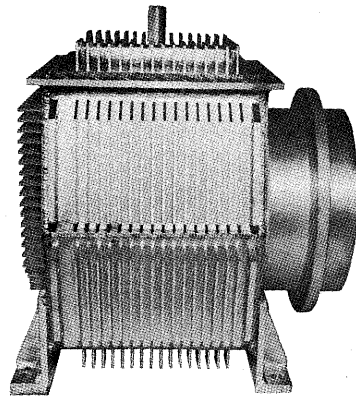
一方、電力用サイリスタ及びその周辺の制御装置の信頼性の向上は、サイリスタスタックの密封冷却を可能にした。更に最近の材料及び製造技術の進歩により、フロン沸騰浸漬方式の製品化が容易になった。第6図に沸騰冷却ユニットの基本構成を示す。フロン沸騰冷却の原理、特性などについては既に紹介されているので、ここでは第6図に基づいてフロン沸騰冷却の原理を概説する^{(3),(4)}。



第6図 フロン沸騰冷却の原理図
Fig. 6. Principle of front boiling type cooling system

密閉された容器の中でチョッパ部の半導体スタックを沸騰冷媒であるフロン113液に浸漬し、半導体で発生した熱は圧接された冷却フィンを介して近傍のフロン液を沸騰気化させる。気化したフロンガスは容器内の圧力差により上部の凝縮部に移動する。容器内壁に接したフロンガスは熱を奪われて、凝縮再液化し重力の作用により液部に環流する。このような気液の相変化を伴うフロンの循環において、半導体の発生損失はスタック部での沸騰熱伝達、及び凝縮部での凝縮熱伝達と凝縮部外壁放熱フィンでの対流熱伝達により大気へ伝達される。

第7図は本チョッパ装置のフロン沸騰冷却ユニットで、1相のチョッパ部を収納しているタンク外観である。容器の内圧、内容積がある水準以下になると製造者、使用

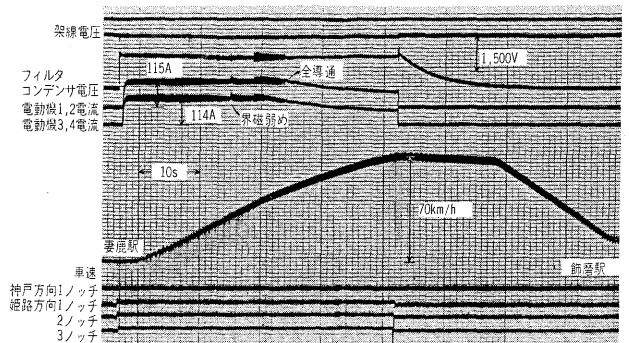


第7図 フロントタンク外観
Fig. 7. Exterior view of front tank

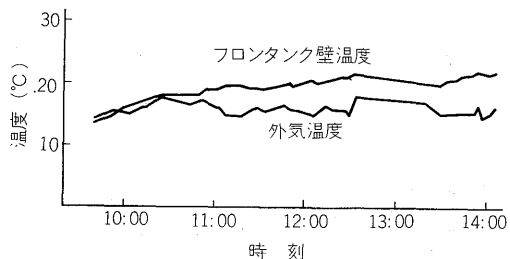
者は法的規制を受けるので、本フロン沸騰冷却ユニットは法的規制を受けない範囲に小形、圧力上昇抑制を行っている。容器は熱伝達の向上と軽量化のため、アルミニウムで構成されている。容器中には半導体スタック、分圧抵抗、温度継電器が収納されており、これらの耐フロン性は十分に確認されている。外部との接続用の気密端子に耐フロン性のエポキシ樹脂端子を使用している。容器外側には空気側への放熱フィンが設けられ、自然対流のほかに走行風利用による冷却性能向上を図る構造となっている。

VI. 現車試験結果

昼間の営業運転ダイヤに試運転ダイヤを組み込んで本線走行試験を行った。本線走行では、主として踏切制御子への影響、温度上昇、架線高調波電流及び騒音測定を



第8図 チョッパ制御車のオシログラム
Fig. 8. Oscillogram of chopper controlled car



第9図 本線走行時のフロントタンク壁温度
Fig. 9. Surface temperature of front tank

行った。以下に試験結果の概要を述べる。

1. 本線走行オシログラム

本線走行時のオシログラムの一例を第8図に示す。第8図は各電動機群の電流は良くバランスし、界磁弱め、全導通への移行など滑らかに行われていることを示している。

2. 温度上昇試験

本線走行時の、フロンタンク外壁温度の測定結果の一例を第9図に示す。

3. 誘導障害

誘導障害については踏切制御子への影響、Jpなどについて本線走行にて測定した結果、問題はなかった。

4. 騒音

チョップ部の騒音測定を行った結果、十分低い騒音であることが確認できた。

VII. あとがき

今回、山陽電気鉄道(株)に納入した新形チョップは、

8年間にわたる営業運転期間に得られた貴重なフィールドデータをもとに、フロン沸騰冷却自冷方式の採用、マイクロコンピュータ応用のチョップ自動試験装置の採用など、最近の新技术を取り入れたチョップ装置である。今後は更にフィールドデータの積重ね、低メンテナンス化、低騒音化などユーザの意向を十分に反映し、時代にマッチしたチョップ装置の製作に努力をしていきたい。

最後にこの新形チョップ装置の設計、製作並びに試験に際し、多大な御指導と御協力をいただいた山陽電気鉄道(株)殿の関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 沢ほか：山陽電鉄納入270形車用チョップ制御装置，富士時報 45，No.10（昭47）
- (2) 泉ほか：マイクロプロセッサのパワーエレクトロニクスへの応用，富士時報 53，No.9（昭55）
- (3) 秋山・西尾：化学冷媒の沸騰による半導体の冷却，富士時報 42，No. 2（昭44）
- (4) 白井：フロン沸騰冷却の諸特性，昭51 電気学会全国大会 S-8-4



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。